

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Корнева Владимира Александровича

**«Исследование удержания быстрых ионов в компактном токамаке
ТУМАН-3М с помощью измерения потоков нейтронов»,**

представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы

Актуальность темы диссертации

Одним из наиболее перспективных методов нагрева плазмы в термоядерном реакторе в настоящее время является дополнительный нагрев с использованием инъекции атомарных пучков высокой энергии. Инжекционный нагрев плазмы будет основным в сооружаемом в настоящее время экспериментальном токамаке-реакторе ИТЭР. Таким образом, разработка методов исследования эффективности инжекционного нагрева плазмы в токамаке является актуальной задачей. Разрабатываемые в настоящее время проекты сооружения компактных термоядерных источников нейтронов для гибридных «синтез-деление» реакторов дополнительно усиливают интерес к изучению закономерностей образования потоков нейтронов в токамаке. В таких гибридных реакторах снижается острота проблемы взаимодействия плазмы с первой стенкой токамака-реактора за счет снижения требований к мощности термоядерного реактора при использовании «усиления» нейтронного потока в blankets, содержащем делящиеся материалы.

Одним из важных направлений данной работы было установление эмпирической зависимости (скейлинга) величины интенсивности нейтронного потока от основных параметров термоядерной установки, параметров плазмы и характеристик инжектируемого пучка. Данный скейлинг может быть использован для прогнозирования величины нейтронного выхода при модернизации существующих компактных токамаков, а также при создании новых установок данного типа. Таким образом, актуальность настоящего исследования не вызывает сомнений.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Впервые в России подробно исследовано поведение нейтронного потока в плазме с инъекцией интенсивного нейтрального пучка атомов в зависимости от различных параметров плазменного разряда и характеристик пучка. В условиях токамака ТУМАН-3М разработанная нейтронная диагностика оказалась наиболее надежным и эффективным средством исследования удержания быстрых ионов, образующихся в дейтериевой плазме. Создана обширная база экспериментальных данных поведения быстрых частиц и обусловленного ими нейтронного излучения при нейтральной инъекции в компактном токамаке ТУМАН-3М. Анализ созданной базы данных, позволил предложить новый скейлинг, описывающий параметрическую зависимость нейтронного выхода от основных параметров установки, параметров плазмы и характеристик инжектируемого пучка.

Все представленные результаты получены автором лично или при его активном участии.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Полученные в ходе работы результаты экспериментально обоснованы. Достоверность экспериментальных данных обеспечена многократным

повторением измерений, сопоставлением результатов измерений с данными, полученными другими диагностическими средствами, а также с результатами численного моделирования. Результаты численного моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными. Диагностическое оборудование, используемое при проведении экспериментов, методы обработки и анализа экспериментальных данных многократно проверены на токамаке ТУМАН-3М и других термоядерных установках.

Значимость результатов, полученных в диссертации

Главным научным результатом стало измерение и анализ поведения нейтронного выхода при разных параметрах инжектируемого пучка и плазмы. Сформулированы рекомендации по оптимизации параметров плазмы и инжектируемого пучка для получения максимального выхода нейтронного потока, которые могут быть применены не только в экспериментах на токамаке ТУМАНе-3М, но и на других термоядерных установках. Построенная на базе экспериментальных данных нейтронных измерений на токамаке ТУМАН-3М эмпирическая зависимость (скейлинг) величины нейтронного выхода от основных параметров установки, параметров плазмы и характеристик инжектируемого пучка позволяет прогнозировать величину нейтронного выхода при модернизации существующих компактных токамаков и при создании новых установок данного типа.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1) Во введении представлен список основных публикаций автора по теме диссертации, однако в дальнейшем в главах 2-4, где представлены результаты и обоснованы положения, выносимые на защиту, нет ни одной ссылки на эти публикации, но есть ссылки на список литературы. Такой подход к цитированию оригинален, но не корректен.

2) В главе 2 представлены результаты, обосновывающие два положения, вынесенные на защиту: «Создание комплекса инжекционного нагрева плазмы на токамаке ТУМАН-3М для исследования закономерностей генерации нейтронов и изучения физики дополнительного нагрева плазмы в компактном токамаке» и «Разработка и создание нейтронной диагностики на токамаке ТУМАН-3М». Как оппоненту, мне представляется, что формулировки обоих положений не самые удачные, поскольку на защиту выносится процесс «Создание...», а не результат.

3) В работе не показано устройство и не приведены характеристики используемых нейтронных детекторов, такие как размеры ^3He -газоразрядных счетчиков, размеры полиэтиленовых замедлителей. Эти параметры определяют энергетическую зависимость эффективности регистрации нейтронов детектором $\varepsilon(E_n)$. Не показано, являются ли детекторы «всеволновыми».

4) К рисунку 19 сделана не корректная подпись «Эффективность регистрации нейтронов различной энергии ^3He -газоразрядным счетчиком», в то время как на рисунке представлено сечение реакции $^3\text{He}(n,p)T$.

5) Предложенный метод расчета интегрального нейтронного выхода по данным разработанной нейтронной диагностики основан на ряде существенных упрощений. Коэффициент пропорциональности B_0 в формуле 18 принят константой по всему объёму плазменного шнура. Это является идеализированным случаем, поскольку метод :

не учитывает ослабление потока термоядерных нейтронов при прохождении через конструкцию токамака;

не учитывает вклад потока рассеянных нейтронов;

Соответственно использование предлагаемого метода требует проведение валидации, которой должна быть калибровка с нейтронным источником и детальный расчет нейтронного транспорта (например с помощью кода MCNP).

6) В главе 3 представлены основные результаты исследования нагрева плазмы инжекционным способом на токамаке ТУМАН-3М, включая результаты измерения абсолютной величины нейтронного потока в зависимости от параметров разряда. Ряд результатов (например, на рис. 30-35) величины нейтронного потока R_n представлен с указанием погрешности. Однако в диссертационной работе нет информации о том, каким образом выполнен расчет погрешности, какие факторы были учтены, какой доверительный интервал.

В целом, несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию в выступлениях на семинарах и конференциях, опубликованы в 8 статьях в реферируемых журналах. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям к диссертациям, указанным в постановлении Правительства Российской Федерации «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор – Корнев Владимир Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Официальный оппонент:

Кашук Юрий Анатольевич

кандидат физико-математических наук,

начальник отдела нейтронной и спектроскопической диагностик,

Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии
«Росатом» «Проектный центр ИТЭР»

123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1 строение 3

Телефон +7 917 512 51 35

E-mail: Y.Kashchuk@iterrf.ru

« 24 » мая 2019 г.

_____ Кашук Юрий Анатольевич

Подпись Кашука Юрия Анатольевича заверяю:

Директор Частного учреждения

Государственной корпорации

по атомной энергии «Росатом»

«Проектный центр ИТЭР» _____

« 24 » мая 2019 г.

Ильников А.В.

